

Received	2026/02/03	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/02/23	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/02/25	تم نشر الورقة العلمية في

تحليل دور حالة الإثارة الذرية الناتجة عن التشعيع الكهرومغناطيسي في تقييم جودة المياه باستخدام مشغل الإنترنت

عبد الحميد المبروك الدجن

الهيئة الليبية للبحث العلمي

طرابلس - ليبيا

عبد الباسط سالم عمار هويدي*

المعهد العالي لشؤون تقنيات المياه

العجيلات - ليبيا

*bast22392@gmail.com

الملخص

يهدف هذا البحث إلى التحقق من دقة تقييم جودة المياه باستخدام التحليل الكمي (Quantum Analysis) كأسلوب داعم لنتائج سابقة أنجزت بمفهوم مشغل الإنترنت في الديناميكا الحرارية المقاسة [1]. تنطلق الدراسة من مشكلة غموض تأثير الإشعاع الكهرومغناطيسي الطبيعي على خصائص المياه وتباين جودة العينات بين المصادر المختلفة (مطر، جوفي، قناني تجارية). لتحقيق ذلك، تم اعتماد منهجية تحليل طاقي تربط بين طاقة بولتزمان (Boltzmann's Energy) وطاقة بلانك (Planck's Energy) لتقدير ترددات الإثارة الذرية (fag) لعينات المياه تحت ظروف تشعيع مختلفة، مع تحليل بياني للعلاقة بين تغير التردد وزمن التشعيع. (t)

أظهرت النتائج هبوطاً ملحوظاً في مسارات التردد لكلٍ من الماء الجوفي (fag,AA-WS2) وماء القنينة (fag,AA-WS3) مقارنة بماء المطر المرجعي (fag,AA-WS1)، وهو ما يُعزى إلى تأثير الاختراقات الإشعاعية الطبيعية لنظائر الراديوم (^{226}Ra , ^{228}Ra) واليورانيوم (^{234}U , ^{238}U) كما أظهرت النتائج وجود تأثير طفيف للمضافات الكيميائية المهاجرة من البلاستيك إلى الماء المعبأ، بينما يُشير التشابه في السلوك الترددي بين الماء الجوفي والمعبأ إلى غياب المعالجة المسبقة قبل التعبئة، مثل التناضح العكسي (RO) أو التبادل الأيوني. (IX)

تُبرز هذه النتائج أهمية استخدام التحليل الكمي في رصد التأثيرات الطاقية الدقيقة وتأكيده
فعاليتها كأداة في تقييم جودة المياه الطبيعية والمعبأة.
الكلمات المفتاحية: جودة المياه، التحليل الكمي، الترددات الذرية، النظائر المشعة.

Analysis of the Role of Atomic Excitation State Induced by Electromagnetic Irradiation in Assessing Water Quality Using the Entropy Operator

Abdulbaset Salem Huwaidy*

Advanced Institute for Water
Technologies, Al-Ajaylat, Libya

Abdulhamid Mabruk Dajan

Libyan Establishment for
Scientific Research, Tripoli, Libya

*bast22392@gmail.com

Abstract

This study aims to verify the accuracy of water quality assessment using Quantum Analysis as a complementary approach to previous results obtained through the Entropy Operator concept in measured thermodynamics [1]. The research addresses the problem of the unclear impact of natural electromagnetic radiation on water properties and the variation in quality among different sources (rainwater, groundwater, and bottled water). To achieve this, an energetic analytical methodology was adopted, linking Boltzmann's Energy and Planck's Energy to estimate the atomic excitation frequencies (fag) of water samples under various irradiation conditions, accompanied by a graphical analysis of the relationship between frequency variation and irradiation time (t).

The results revealed a significant decline in frequency trajectories for both groundwater (fag, AA-WS2) and bottled water (fag, AA-WS3) compared to the reference rainwater sample (fag, AA-WS1). This reduction is attributed to the influence of natural radioactive isotopes such as radium (^{226}Ra , ^{228}Ra) and uranium (^{234}U , ^{238}U). A slight effect was also observed from chemical additives migrating from plastic containers into the bottled water. Meanwhile, the similarity in frequency behavior between groundwater and bottled water indicates the absence of pre-

treatment processes prior to bottling, such as Reverse Osmosis (RO) or Ion Exchange (IX).

These findings highlight the significance of Quantum Analysis in detecting subtle energetic effects and confirm its effectiveness as a reliable tool for evaluating the quality of both natural and bottled water.

Keywords: Water Quality, Quantum Analysis, Atomic Frequencies, Radioactive Isotopes.

1. المقدمة

يُعدّ الماء من أهم الموارد الحيوية التي تتأثر بشكل مباشر بالعوامل الفيزيائية والكيميائية والإشعاعية المحيطة، مما يجعل تقييم جودته أمرًا ضروريًا للحفاظ على الصحة العامة والبيئة. وفي ظل التطورات الحديثة في مجالات التحليل الطاقى والديناميكا الحرارية، أصبح من الممكن استكشاف التغيرات الدقيقة في البنية الذرية للماء لتحديد تأثير الإشعاع الكهرومغناطيسي الطبيعي على خصائصه الفيزيائية.

ينطلق هذا البحث من هذا الإطار العلمي ليقدّم مقارنة كمية دقيقة تربط بين السلوك الميكروسكوبي للإثارة الذرية والتوصيف الماكروسكوبي لجودة المياه. ويهدف بشكل خاص إلى التأكيد على دقة نتائج توصيف جودة المياه التي تم الحصول عليها سابقًا [1] وفق مفهوم مشغل الإنتروبي في الديناميكا الحرارية المقاسة، وذلك عبر تطبيق تحليل كمي دقيق يستند إلى المسلك الفيزيائي للديناميكا الحرارية الدقيقة.

جدول 1: الرموز والمتغيرات المستخدمة في الدراسة

الوصف	الوحدة	الرمز
زمن التشعيع الكهرومغناطيسي	min	t
درجة الحرارة النهائية للعينة	°C	T_f
درجة الحرارة الابتدائية للعينة	°C	T_i
طاقة الإثارة الذرية (طاقة بولتزمان)	eV	EA
طاقة بلانك عند مستوى كمومي محدد	eV	En
تردد الإثارة الذرية	s ⁻¹	f_{ag}
التردد المرجعي لعينة ماء المطر	s ⁻¹	$f_{ag,Ref}$
تردد عينة ماء المطر	s ⁻¹	$WS1-f_{ag,AA}$

الوصف	الوحدة	الرمز
تردد عينة الماء الجوفي	s ⁻¹	WS2-fag,AA
تردد عينة ماء القنينة	s ⁻¹	WS3-fag,AA
ثابت بلانك	eV·s	h
الرقم الكمي لمستوى الطاقة	—	n
ثابت تقاطع المنطقة الخطية	eV	a
ثابت ميل المنطقة الخطية	eV/s	b
مُشغل الإنترنت	—	sop
نسبة جودة المياه	%	Q
جودة المياه الجوفية	%	WS2-QAA
جودة مياه القنينة	%	WS3-QAA
نسبة التغير في التردد	%	Δfag
درجة حرارة الانتقال الزجاجي	°C	Tg
التناضح العكسي	—	RO
التبادل الأيوني	—	IX
المواد المشعة الطبيعية	—	NORM
بولي إيثيلين منخفض الكثافة	—	LDPE
بولي إيثيلين عالي الكثافة	—	HDPE
بولي إيثيلين تيرفتالات	—	PET
خطط سلامة المياه	—	WSPs

يوضح الجدول I جميع الرموز والمتغيرات الفيزيائية والكيموفيزيائية المستخدمة في الدراسة، مع وحداتها العلمية ومعانيها، وذلك لتسهيل فهم النموذج التحليلي ونتائج ميزان الطاقة المعتمد.

2. أهداف البحث

- تأهيل نتائج إختبارات التشعيع الكهرومغناطيسي لعينات ماء المطر والماء الجوفي وماء القنينة في المرجع [1] من حيث دور مديات المُحددات المُتحكمة في توصيف نسب مخاطر الإختراق التي تؤخذ كمُستويات تلوّث يتم بها تحديد درجات جودة المياه الصالحة للشرب أو للري.

- إستيفاء شرط تطابق السلوك الكيموفيزيائي لنتائج التشعيع من خلال: (أ) النهج المُتبع في الديناميكا الحرارية المُقاسة المُمثل بمُشغل الإنترنت Sop ، و(ب) النهج المُتبع في التحليل الكمي الدقيق.
- إنشاء ميزان طاقة الإثارة الذرية كأداة تجمع بين طاقة بلانك وطاقة بولتزمان وذلك من أجل تحديد قيم تردد الإثارة الذرية (f_{ag}) في مدى زمني لعلاقة خطية يتم على أساسها تقييم جودة مياه العينات المُختبرة.

تُعد دراسة تأثير التشعيع الكهرومغناطيسي على خصائص المياه خطوة أساسية لفهم السلوك الكيموفيزيائي للمياه من مصادرها المختلفة، ولا سيما في ظل التزايد المستمر في مصادر التلوث الطبيعية والصناعية. وتعتمد أهمية هذا الموضوع على العلاقة المباشرة بين التغيرات الطاقية الدقيقة على المستوى الذري وبين جودة المياه وصلاحيتها للشرب أو للاستخدام الزراعية، [1] الحاجة إلى مقاربات علمية متقدمة تُدمج بين مفاهيم الديناميكا الحرارية المقاسة والتحليل الكمي الدقيق لتوصيف التفاعلات المعقدة بين الطاقة والمادة في أنظمة المياه المختلفة.

توصي الأدبيات العلمية وخطط سلامة المياه [2] بضرورة اعتماد تقييم المخاطر كمنهج أساسي في دراسات جودة المياه، لما يوفره من دقة في تحديد نسب الاختراقات والتلوث وتأثيرها على صلاحية المياه.

وفي هذا الإطار، يتمثل الهدف الرئيسي لهذا البحث في تطوير منهجية علمية متكاملة لتقييم جودة المياه عبر تحليل دور حالة الإثارة الذرية الناتجة عن التشعيع الكهرومغناطيسي باستخدام مشغل الإنترنت، وذلك للتحقق من مدى دقة وموثوقية توصيف جودة المياه لمصادرها المختلفة.

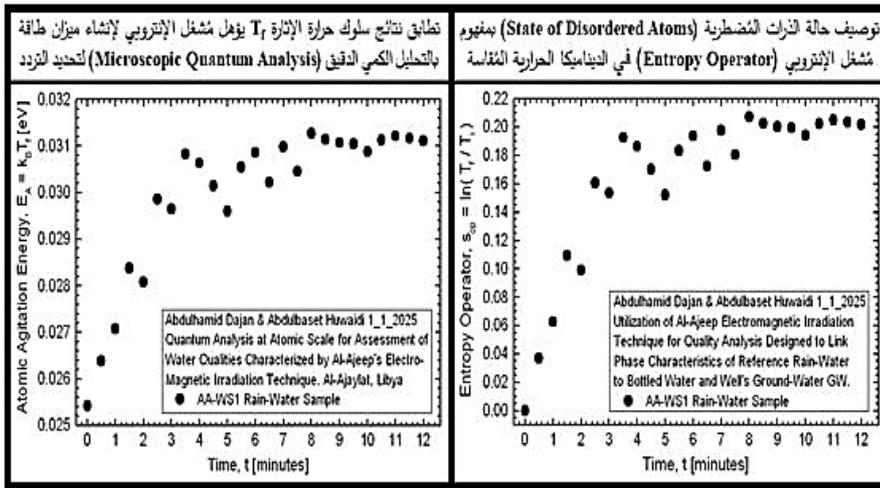
3. عينة ماء المطر المرجعية

القاسم المُشترك بين التحليل المُقاس لنتائج السلوك الحراري كدالة في زمن تشعيع عينة الماء الطبيعي والتحليل الكمي الدقيق ينحصر في مُستويات درجات الحرارة المُقاسة بالمُحددة T_f في مُعادلة طاقة بولتزمان التي يتم بها التعرف على مسار السلوك الكيموفيزيائي للحالة المائية الغير مُخرقة. الصيغة الرياضية لطاقة بولتزمان تعطيهَا المُعادلة 1 المعروفة أيضاً بطاقة الإثارة الذرية :

Atomic Agitation Energy, $E_A = k_B T_f$ [eV] Eqn. 1
Boltzmann Constant, $k_B = 8.614 \times 10^{-5}$ [eV/K]

الشكل 1 يؤهل نتائج المعادلة 1 في تحقيق شرط إستيفاء تطابق السلوك الكيموفيزيائي المطلوب لإنشاء ميزان طاقة بطرف أساسه العلمي نتائج مُشغل الإنتروبي (S_{op}) في المعادلة 2، حيث T_i درجة حرارة بداية الإختبار و T_f درجة الحرارة النهائية التي هي القاسم المُشترك المُشار إليه في بداية هذا الجزء والتي تؤخذ كمُحددة دالة في زمن نظام إختبارات تشيع العينات المائية.

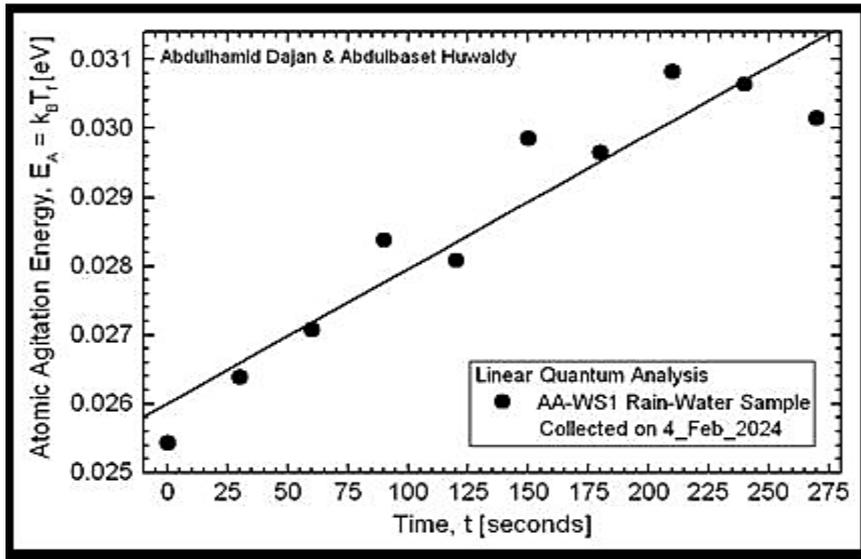
Entropy Operator, $s_{op} = \ln(T_f/T_i)$ Eqn. 2



الشكل 1: نتائج إختبار تشيع عينة ماء المطر (AA-WS1) المرتبطة بسلوك علاقات تحقق مسار مُطابق لمسار نتائج التحليل الكمي في كل مديات توزيع درجة الحرارة النهائية T_f على محور الزمن.

المسارات البارزة في نتائج إختبار التشيع الكهرومغناطيسي لماء المطر في الشكل 1 تنقسم إلى: (1) المنطقة الخطية التي بسلوكيات مُحددها يُمكن التعرف على البصمة المرجعية لعينة من أمطار غزيرة تم تجميعها بعناية فائقة و(2) تنقسم استجابات $T_f(t)$ في الشكل (1) إلى منطقتين وفق معيار حراري-زمني كمي يعتمد على معدل تغير درجة الحرارة النهائية. تُعرّف المنطقة الخطية (Linear Region) بأنها المدى الذي

يكون فيه الميل الحراري شبه ثابت بما يسمح بإجراء التقييس الخطي واستخلاص ثوابته. بينما تُعرّف المنطقة المسطحة (Plateau Region) بأنها المدى الذي تصبح فيه صغيرة جدًا (قريبة من الصفر) ضمن نافذة زمنية متحركة، مع ظهور تذبذبات حول قيمة شبه ثابتة لدرجة الحرارة النهائية. وعليه، فإن تحديد بداية الـ Plateau لا يعتمد على الزمن وحده، بل على تحقق شرط الانخفاض الكمي في f^*T ، وهو ما يبرّر اختيار حدودها من بيانات الشكل (1) وليس من افتراض وصفي مسبق. وبناءً على ذلك، يُستخدم جزء المنطقة الخطية فقط في إنشاء ميزان الطاقة وتحديد fag كما في الشكل 2:



الشكل 2: نمذجة البيانات الإختبارية في منطقة التقييس الخطي لعينة ماء المطر (AA-WS1).

المعادلة 3 تعطي البعد العملي للميزان القائم بين طاقة بولتزمان (Boltzmann's Energy Agitation Frequency, E_A) وكطاقة إثارة ذرية (Planck's Energy, $E_n = n \times h \times f$) وطاقة بلانك (Energy Agitation Frequency, f_{ag} [sec⁻¹] وميل الخط المُستقيم المشهور بثابت بلانك = Planck Constant, $h = 4.14 \times 10^{-15}$ [eV·sec] عند مُستوى الطاقة n المعروف بالرقم الكمي (Quantum Number, $n = 1, 2, 3, \dots$) الذي يعني كمية مُجزئة موزعة على مُستويات طاقة.

كل ذلك يؤخذ في صياغة ميزان الطاقة الذي تصفه المعادلة 3 والذي يُستخدم في تحديد مستويات التغير في التردد (f_{ag}) من المعادلة 4 كمجس لأي إختراق مادي:

$$\text{Energy Balance, } E_A = a + b t = n (h f_{ag}) \dots \dots \dots \text{ Eqn. 3}$$

$$\text{Agitation Frequency, } f_{ag} = \frac{a + b t}{n h} \dots \dots \dots \text{ Eqn. 4}$$

حيث قيم ثوابت المنطقة الخطية: $a = 0.02601$ [eV] و $b = 1.9525 \times 10^{-5}$ [eV/sec] لماء المطر.

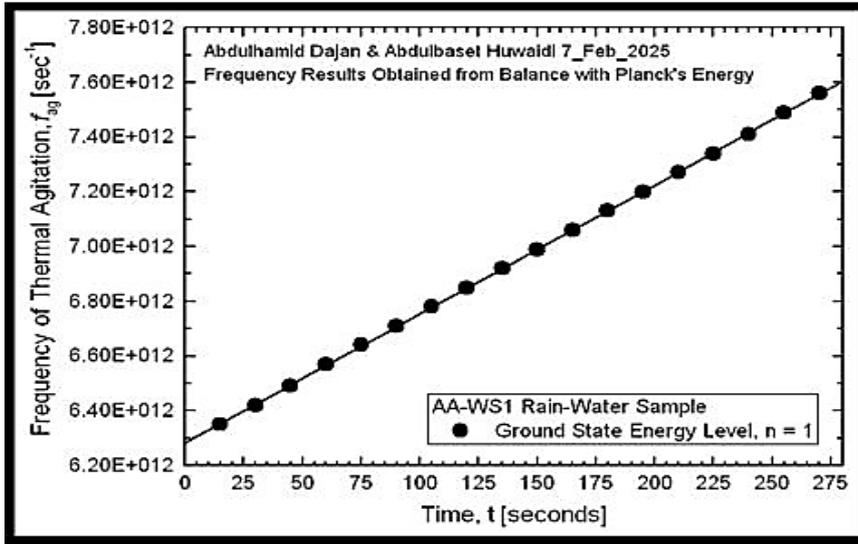
تجهيز المعادلة 4 لحالة عينة ماء المطر (AA-WS1 Sample) بقيم ثوابت المنطقة الخطية وثابت بلانك $h = 4.14 \times 10^{-15}$ [eV·sec] ينتهي في المعادلة 5 كعلاقة عملية تربط التردد الذري (f_{ag}) للعينة المُختبرة بزمّن التشعيع عند أول مُستوى لطاقة الإثارة $n = 1$ في الميزان الكمي. دور هذه العلاقة ينحصر في توفير القيمة المرجعية لميل الخط في الشكل 3.

$$\text{Reference Frequency, } f_{ag,AA-WS1} = 6.283 \times 10^{12} + 4.72 \times 10^9 t \dots \dots \dots \text{ Eqn. 5}$$

جدول 2: مقارنة النتائج النهائية مع القيم المرجعية

التفسير	نسبة الاختلاف (%)	مقدار الانحراف (%)	القيمة المرجعية (AA-WS1)	الجودة النهائية Q (%)	التردد الذري النهائي (f_{ag}) (s^{-1})	العينة
مرجع	—	—	—	100 (مرجعي)	$f_{ag,Ref}$	ماء المطر (AA-WS1)
تأثير سلبي	-24.7	-24.705	ماء المطر	75.295 ± 1.625	f_{ag_2}	الماء الجوفي (AA-WS2)
تأثير سلبي	-24.1	-24.125	ماء المطر	75.875 ± 1.295	f_{ag_3}	ماء القتبنة (AA-WS3)

يُوضح الجدول 2 المقارنة الكمية بين القيم النهائية لعينات المياه المختبرة والقيمة المرجعية لعينة ماء المطر، حيث يُلاحظ وجود انخفاض واضح في جودة المياه الجوفية والمياه المعبأة مقارنة بالمرجع الطبيعي، مما يدل على تأثيرات سلبية مرتبطة بوجود عوامل تلوث أو اختراق مادي وإشعاعي.

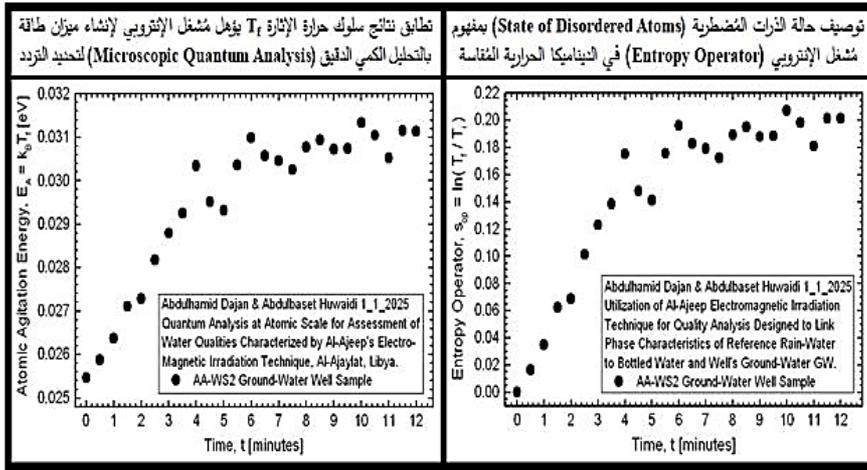


الشكل 3: نتائج التردد الذري المرجعي ($f_{ag,Ref}$) لعينة ماء المطر عند مستوى الطاقة
.n = 1

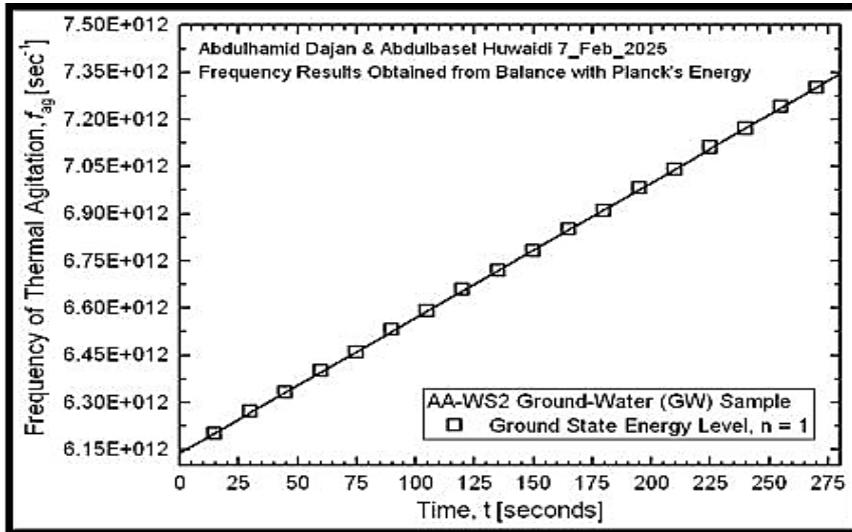
4. عينة الماء الجوفي

الشكل 4 يعرض حصيلة المناظرة بين نتائج مشغل الإنترنت ومخرجات التحليل الكمي بميزان الطاقة المُصاغ على أسس المُعادلة 3 التي تُحافظ على تناظر كيموفيزيائي يعتمد على التغير في درجة الحرارة النهائية T_f مع زمن التشعيع الكهرومغناطيسي. كل ذلك تُمثله المُعادلة 6 بقيمة ثابت بلانك وقيم ثوابت المنطقة الخطية لحالة الماء الجوفي: $a = 0.02542$ [eV] و $b = 1.77761 \times 10^{-5}$ [eV/sec] عند أول مستوى طاقة ($n = 1$). الشكل 5 يعطي نتائج هذه العلاقة التي تُستخدم في التعرف على سقف أي تدخل مادي في التكوين الطبيعي للماء وتأثير ذلك على الجودة المطلوبة.

$$GW \text{ Frequency, } f_{ag,AA-WS2} = 6.14 \times 10^{12} + 4.294 \times 10^9 t \dots \dots \text{ Eqn. 6}$$



الشكل 4: حصيلة التناظر الكيموفيزيائي بين مُشغل الإنتروبي ونتائج التحليل الكمي في ميزان الطاقة لعينة الماء الجوفي (AA-WS2) عند مديات درجة الحرارة النهائية T_f المُتوزعة على محور الزمن.

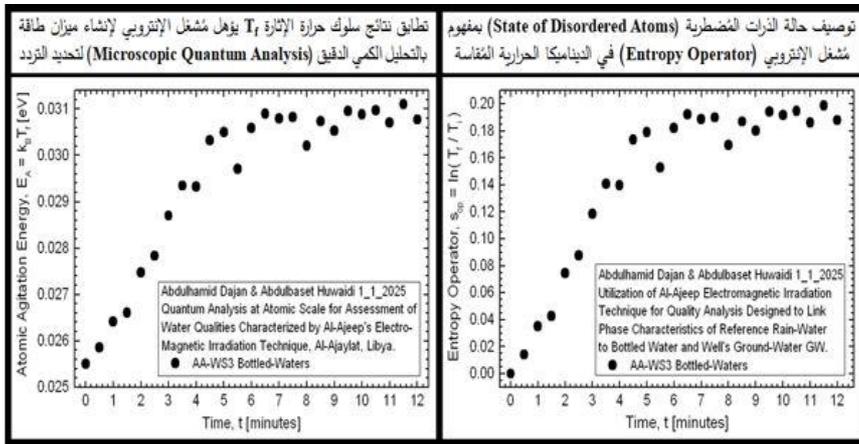


الشكل 5: نتائج تردد الإثارة الذرية $f_{ag,AA-WS2}$ من ميزان الطاقة لعينة الماء الجوفي عند $n = 1$.

5. عينة ماء القنينة

هذه العينة تُمثل جزء هام من وسائل توفير ماء الشرب المُعبأ في قنينات بلاستيكية تتعرض يومياً لظروف حرارية أثناء التخزين والمُناولة والتسويق كُممارسات تجارية تبرز

بسببها آليات هجرة لمُلوثات كيميائية من جدار القنينة كحامل إلى الماء كحمول [3]. الهجرة تبدأ بإرتفاع مُتدرج في حرارة حجم التلامس بين الماء والجدار وصولاً إلى درجة حرارة الإنتقال الرُّجاعي (T_g) التي عندها تدخل سلاسل مادة التكوين البوليمري للجدار في مرحلة مرونة ديناميكية تسمح بإنطلاق المُضافات الكيميائية في عملية إخلاء نحو الوسط المائي. نُشير هنا إلى أن مادة عديد الإثيلين تيرا فتاليت تُمثل البوليمر الأكثر استخداماً في تصنيع القنينات البلاستيكية الحاملة لمياه الشرب. الشكل 6 يوضح دور جزء وزني ضئيل من المُضافات الكيميائية في ظهور سلسلة لُقُب هلالية مُتوزعة على طول المدى الزمني للمنطقة المُسطحة المُضطربة كنتيجة للإختراق المادي. هذا يُشير إلى وجود تداخل كيموفيزيائي بين التكوينات الطبيعية في أصل المحمول والكيمويات المهاجرة من جدران قنينة العبوة المائية [4].



الشكل 6: تطابق كيموفيزيائي بين عوامل الإضطراب المادي في حالة مُشغل الإنتروبي وحالة التحليل الكمي لعينة ماء القنينة (AA-WS3) عند أعلى مُستوى حراري T_f كدالة في زمن التشعيع.

إمتداد ما تقدم في هذا الجزء ينتهي بتوصيف مُعدلات التغير في التردد ($f_{ag,AA-WS3}$) التي يصفها ميزان الطاقة والتي تتحدد مُستوياتها من المُعادلة 4 بقيم ثوابت المنطقة الخطية لحالة ماء القنينة: $a = 0.02531$ [eV] و $b = 1.79762 \times 10^{-5}$ [eV/sec] عند مُستوى طاقة $n = 1$. فمع قيمة ثابت بلانك, تم صياغة المُعادلة 7 كما في التالي:

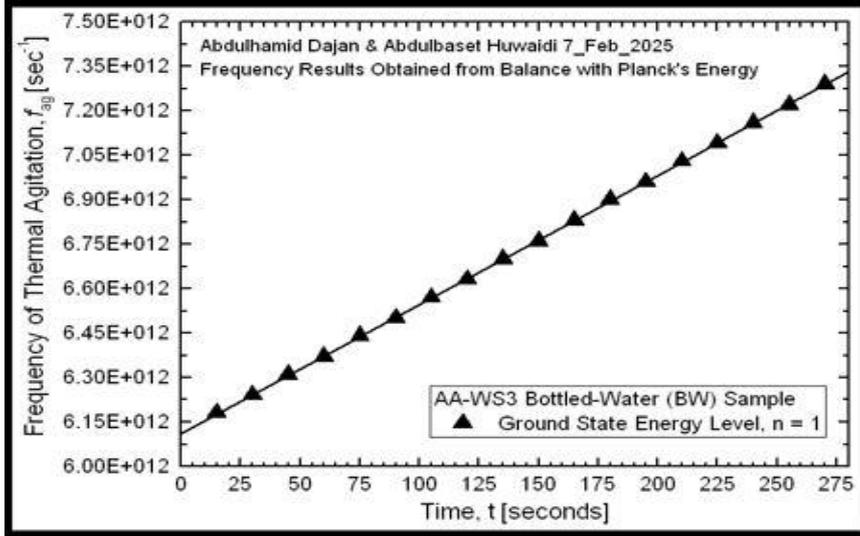
BW Frequency, $f_{ag,AA-WS3} = 6.114 \times 10^{12} + 4.342 \times 10^9 t \dots \dots \dots$ Eqn. 7

نتائج تغير مُحددة التردد الذري مع زمن التشعيع الكهرومغناطيسي في المُعادلة 7 تسمح بربط أصل عينة ماء القنينة (AA-WS3 Sample) بنتائج عينة الماء الجوفي (AA-WS2 Sample) كمصدر طبيعي لمياه الشرب المُعبئة في قنينات بلاستيكية. فإن المُقارنة تشمل النتائج في الشكل 5 والشكل 7 وذلك من أجل تجميع بيانات ترددات الإثارة الذرية (f_{ag}) للحالتين وربطهما بصيغة تناسب قياسي تؤخذ كمسلك يتم به تحديد القيمة النهائية المُتوسطة من نسب الترددات المُتغيرة في المدى الزمني للمنطقة الخطية. هذه المُقارنة أظهرت إنخفاض في مُستوى التردد لحالة ماء القنينة بنسبة $\downarrow f_{ag} \triangleright 0.295\%$ كقيمة تستند على مرجعية أساسها نتائج التردد في حالة الماء الجوفي. هذا الإنخفاض الطفيف في نسبة التردد يؤكد على: (1) وجود دور للجزء الضئيل من المُضافات الكيميائية المُهاجرة في إعاقته عوامل الإثارة الذرية في ماء القنينة البلاستيكية و(2) أصل عبوة القنينة هو لماء جوفي غير مُعالج بأي من الطرق الفعالة مثل التبادل الأيوني IX – Ion Exchange والتناضح العكسي RO – Reverse Osmosis (Radionuclides) [5,6] كتقنيات تهتم بالنظائر المُشعة للعناصر المُصنفة تحت (النظائر المشعة. هذه الحويلة المُختصرة سوف يتم توضيح تفاصيلها بعرض بياني في الشكل 8 المُخصص لجزء مناقشة النتائج.

بالرغم من وجود المُضافات الكيميائية المُهاجرة من جدران القنينة البلاستيكية إلى الوسط المائي، والتي تُسهم في زيادة فعالية الحركة الجزيئية ورفع احتمالية تفاعل الجزيئات، إلا أن تأثيرها على معدلات التغير في درجات الحرارة العليا والسفلى أثناء التشعيع الكهرومغناطيسي ظل محدودًا. ويُعزى ذلك إلى أن هذه المُضافات تُحدث اضطرابًا موضعيًا في البنية الكيموفيزيائية للماء دون أن تُغيّر بصورة جوهرية من آلية انتقال الطاقة الحرارية في الحجم الكلي للعينة.

تُظهر نتائج $Tf(t)$ أن معدلات الارتفاع والانخفاض الحراري لعينة ماء القنينة بقيت قريبة من نظيرتها في الماء الجوفي، سواء في الحدود العليا أو السفلى لدرجات الحرارة، مما يشير إلى أن التأثير الحراري للمُضافات لا يتجاوز نطاق التذبذب المحلي. وعليه، فإن

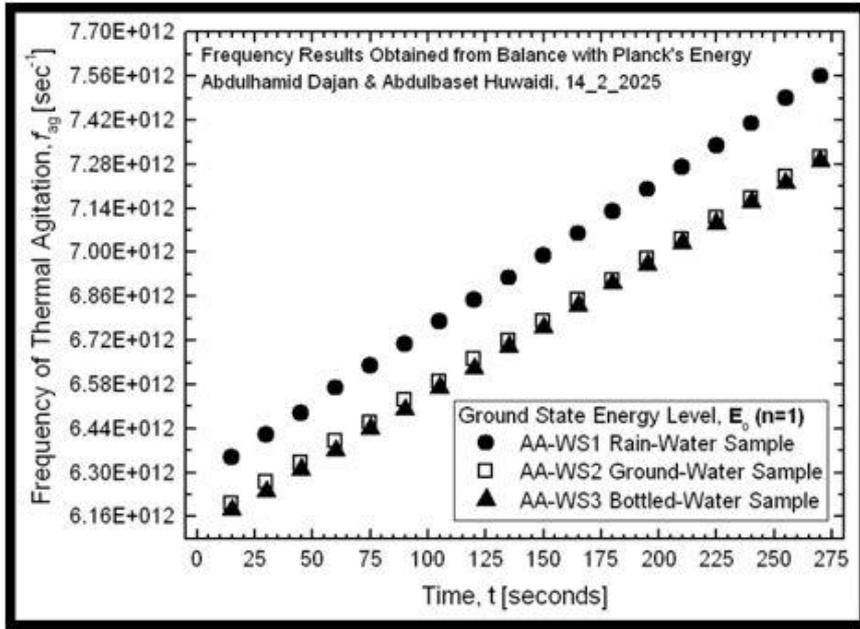
الدور الرئيسي لهذه المضافات يتركز في إعاقه جزئية لعمليات الإثارة الذرية وانخفاض طفيف في تردد f_{ag} ، أكثر من إحداث تغيير ملحوظ في السلوك الحراري الكلي للنظام.



الشكل 7: نتائج تردد الإثارة الذرية $f_{ag,AA-WS3}$ من ميزان الطاقة لعينة ماء القنينة عند $n = 1$.

6. مناقشة النتائج

الشكل 8 يعرض مستوى الانخفاض الملحوظ في قيم ترددات الإثارة الذرية للماء الجوفي $f_{ag,AA-WS2}$ مع الزمن كمسار أظهر هبوط حاد أدى لإنحراف كبير عن مسار نتائج ماء المطر $f_{ag,AA-WS1}$ التي تمثل العينة المرجعية النظيفة. هذا الفرق الواضح يُشير إلى وجود دور لتكوينات نشطة كيموفيزيائياً في حاضنة أرضية تترك بصمتها في الماء الجوفي من خلال آليات لإخترق إشعاعي في الحجم المائي بمواد مُشعة تحدث طبيعياً— كمكونات مُصنفة على أساس أن نشاطها الإشعاعي يتم بواسطة نظائر العناصر التي تنطلق منها الانبعاثات الطبيعية. فالعناصر الملوثة للمياه الجوفية ومياه الشرب الموثقة في [6,7,8] تشمل: (1) نظائر الراديوم ^{226}Ra & ^{228}Ra و (2) نظير الرادون ^{222}Rn و (3) نظائر اليورانيوم ^{238}U & ^{234}U . هنا، تجدر الإشارة إلى أن نظير الرادون ينتج عن إضمحلال الراديوم [6].



الشكل 8: عرض مرئي لمستويات انحراف نتائج تردد الإثارة الذرية (f_{ag}) لعينات الماء الجوفي وماء الفينة عن نتائج التردد في المسار الطبيعي لعينة ماء المطر المرجعية.

يُظهر الشكل (8) بوضوح أن المسار المرجعي لعينة ماء المطر (AA-WS1) يمثل الأساس الفيزيائي والكيموفيزيائي الذي تُقاس عليه انحرافات العينات الأخرى، مما يؤكد دوره المحوري في تفسير النتائج وبناء الاستنتاجات النهائية. هذا البحث يركّز على توصيف حالة الإثارة الذرية للجزيئات داخل عينات المياه المدروسة. وتُعدّ هذه الحالة نتاجاً لتوزيع طاقي كمومي دقيق يمكن رصده من خلال معاملات الديناميكا الحرارية الدقيقة (Microscopic Thermodynamics) التي تُمكن من تفسير سلوك النظام المائي على المستوى الجزيئي، خصوصاً فيما يتعلق بتغيّر الإنتروبي (Entropy) ومعاملات الطاقة الحرة في ظروف التوازن الديناميكي. إن تحليل الإثارة الذرية هنا لا يرتبط بمصدر إشعاعي خارجي أو بوجود نظائر مشعة، وإنما هو ناتج عن التفاعل الداخلي بين مكونات الماء نفسه (H_2O) والعوامل الفيزيائية الخارجية مثل الضغط ودرجة الحرارة، ما يسمح بفهمٍ أعمق لآلية تغيّر الخصائص الفيزيائية للمياه تحت ظروف محددة و(2) حصيلة التنقل الجيوكيميائي لنظائر مُلتصقة بمُعلقات صلبة في المياه الجوفية كحالة يُمكن التعامل معها بتقنية التبادل الأيوني.

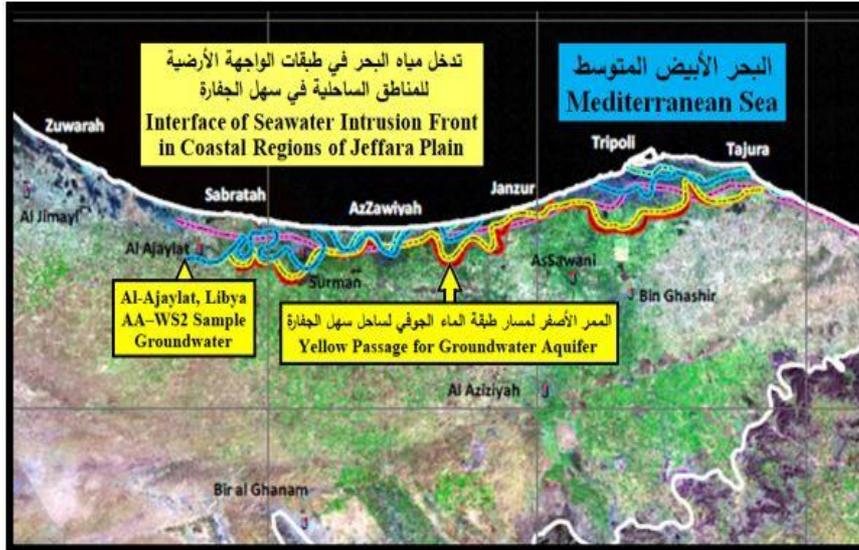
الشكل 9 يختصر كل ما تقدم من عوامل تلويث بعرض مُصور لحالة بيئية مُقلقة لدرجة أن إستمرار هذا الواقع سوف يجر إلى عواقب صحية كارثية في التجمعات السكنية. هذا التنبيه هو تكرار لسلسلة تنبيهات صدرت عن فرقنا البحثية منذ العام 2005م كما في المراجع [11،12،13،14] التي إقترحت حل مؤقت يتم به إيقاف تغلغل الملوثات ببطانة بلاستيكية تمنع إختراق تربة قاعدة البئر كما هو في الشكل 9.



الشكل 9: ناتج تكوين الوحل اللزج الأسود بتراكم المُترسبات بعد تفريغ عبوة بئر الصرف الصحي المُغلف بعازل من مادة عديد الإيثيلين المُنخفض الكثافة (Low Density Polyethylene – LDPE) [14].

ففي دراسة موقّعة في المرجع [15] تم الإهتمام بأبعاد هذا الموضوع بورقة بحثية لفريق علمي تونسي تحت العنوان: نظائر اليورانيوم في مياه من طبقة الماء الجوفي للجفارة الساحلية في الجنوب الشرقي لدولة تونس. الشكل 10 يُتيج التعرف على المناطق الساحلية في سهل الجفارة حيث موقع عينة الماء الجوفي AA-WS2 التي تم تجميعها من بئر يقع في الحدود الإدارية لمنطقة العجيلات المُحاذية للساحل. التخريط

الجيوكيميائي في الشكل 10 يوضح التداخل القائم بين طبقة الماء الجوفي وماء البحر في ممرات مائية تمتد على طول الواجهة الأرضية في ساحل سهل الجفارة [16].



الشكل 10: إمتداد الممرات المائية المتوزعة على طول الواجهة الأرضية في ساحل سهل الجفارة [16].

ظواهر تنقل الملوثات التي يُمثلها الشكل 10 تستند على آليات إنتقال تتحكم فيها مصادر التلوث الإشعاعي والكيميائي والتي تشمل: (1) عمليات الحفر العميق لأبار النفط الخام في البر والبحر و(2) التصريف العشوائي للمياه المُصاحبة لإنتاج النفط في بُحيرات تُغطي مساحات شاسعة من الأراضي الصحراوية القريبة من التجمعات السكنية والمناطق الساحلية [17] و(3) تغلغل السائل القمامي الشديد الخطورة من مكبات القمامة البلدية نحو المياه الجوفية مروراً بطبقات التربة الغير محمية بعازل جيوبلاستيكي أرضي من بوليمر عديد الإثيلين العالي الكثافة [18] و(4) تفريغ عبوات آبار مياه الصرف الصحي المنزلية والعامّة في البحر بواسطة شاحنات نقل مُتخصصة في الخدمات المُتعلقة بالأبار السوداء كُممارسات يلجأ إليها الأهالي بسبب غياب بُنية تحتية لتصريف المجاري [11].

نتائج ذلك يُمثّلها الشكل 9 حيث حالة التصاد التي إكتسبتها البطانة بعد فترة زمن التعرض للماء الأسود. هذه الحالة برزت بوجود مؤثر قادر على تغيير التصنيف الأساسي للبوليمرات التي تتحكم في الصناعات البلاستيكية والتي تنقسم إلى: (1) مواد بوليمرية قابلة للتشكيل- و(2) مواد بوليمرية غير قابلة للتشكيل. أي بمعنى أن غشاء التبطين بدأ مهامه الحمائية في البئر الأسود كغلاف بلاستيكي قابل للتشكيل وخرج منه كمادة بوليمرية مُتصلبة وخالية من المُضافات الكيميائية علماً بأن المُحتوى المائي في البئر هو لمياه الصرف الصحي. هنا، يبرز الدور الهام للنظائر المُشعة التي يبدو أنها أودعت طاقتها في الغشاء حيث تبدأ فيه عملية التحوير المُنتقل بين روابط السلسلة البوليمرية المُتعرضة للماء الأسود. هذه العملية تنتهي عادةً بحالة تشابك في مُركب شبكي يتميز بالصلابة اللازمة لمواجهة عوامل التدهور المادي.

كل ما تقدم تدعمه نتائج جودة المياه في الجدول 3 التي بدأت في المرجع [1] بتقنية مُشغل الإنتروبي والتي نؤكد على دقتها بمسلك التحليل الكمي في هذه المُناسبة. التطابق الشبه تام بين المفاهيم العلمية لهذه الطرق يتلخص في التالي:

- مُستوى جودة الماء الجوفي بالطريقتين وصل إلى $Q_{AA-WS2} = 75.295\%$ $\pm 1.625\%$ كقيمة تتميز بإنحراف مُهملاً مُقارنةً بالقيمة المُتوسطة.
- جودة ماء القنينة البلاستيكية بالنهجين وصلت إلى $Q_{AA-WS3} = 75.875\%$ $\pm 1.295\%$ كنتيجة تؤكد على أن الأصل المائي للعينة AA-WS3 ينتمي مُباشرةً للعينة AA-WS2 التي تُمثل مياه جوفية غير مُعالجة وأن ذلك تدعمه نتائج تردد الإثارة الذرية (f_{ag}) لهذه العينات في الشكل 8.

الجدول 3: مقارنة نتائج جودة المياه الجوفية والمياه المُعبئة في قنينات بلاستيكية.

مُستويات جودة الماء [Q %] Levels of Water Quality, Q [%]		
نتائج التحليل الكمي Quantum Analysis	نتائج مُشغل الإنتروبي AI-Ajeep Entropy Operator	مصدر عينة الماء Source of Water Sample
73.67	76.92	ماء البئر الجوفي AA-WS2
77.17	74.58	ماء قنينة البلاستيك AA-WS3

نختتم هذا الجزء بالتنبيه إلى أن بقاء جودة المياه الجوفية عند القيمة الثابتة $Q_{GW} = 75\%$ يُعجل بظهور حالة التدهور المُبكر في الصحة البشرية وإلحاق أضرار جسيمة في كل ما يُحيط بالإنسان. هذا الهبوط الحاد في جودة الماء الجوفي أبرز الدور الدقيق لمعادلة ميزان الطاقة (المعادلة 3).

كل ما تقدم ينحصر في نتائج جودة المياه المُنبَتقة عن مُشغل الإنتروبي والتحليل الكمي كنهجين مُتقاربين في تقييم أدى إلى: (1) مُستوى جودة الماء الجوفي وصل إلى $Q_{AA-WS_2} = 75.295\% \pm 1.625\%$ كقيمة تتميز بإنحراف مُهمَل مُقارنةً بالقيمة المُتوسطة Mean Value و (2) جودة الماء المُعبأ في القنينة البلاستيكية وصلت إلى $Q_{AA-WS_3} = 75.875\% \pm 1.295\%$ كنتيجة تؤكد على أن الأصل المائي لهذه العينة ينتمي مُباشرةً لعينة الماء الجوفي الغير مُعالج وأن ذلك تدعمه نتائج تردد الإثارة الذرية (f_{ag}) لهذه العينات. هذا الهبوط الكبير في جودة المياه يتطلب إجراءات وقائية تشمل: (1) البداية تكون بمُتابعة دورية للأعمال التي لها أي علاقة بمياه الشرب المُعبئة في القنينات البلاستيكية و (2) التخلص من الآبار السوداء في التجمعات السكنية بعد إستبدالها ببنية تحتية لمياه الصرف الصحي المنزلي والعام و (3) فرض تشريع قياسي يمنع تصريف المياه المُصاحبة لعمليات إنتاج النفط في البر والبحر.

تجدر الإشارة هنا إلى ضرورة التمييز المفاهيمي الدقيق بين الإشعاعات الذرية ذات الأصل النووي والإشعاعات الكهرومغناطيسية المستخدمة في هذه الدراسة. فالإشعاعات الذرية (Nuclear Radiations) مثل جسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما تصدر من أنوية الذرات نتيجة عمليات اضمحلال نووي تهدف إلى تحقيق الاستقرار النووي، ولا تدخل ضمن نطاق القياسات أو التجارب المعتمدة في هذا البحث.

في المقابل، تعتمد هذه الدراسة حصرياً على الإشعاع الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Radiation) كوسيلة لإثارة العينات المائية وتحفيز استجاباتها الحرارية والجزئية، دون أي تدخل مباشر للإشعاعات النووية الطبيعية. ويُستخدم هذا الإشعاع في إطار تقنية العجيب كأداة غير مؤينة تهدف إلى تتبع التغيرات الديناميكية في درجات الحرارة وطاقة الإثارة الذرية المرتبطة بحركة الجزينات.

وعليه، فإن مفهوم "الإثارة الذرية" الوارد في هذا البحث يُقصد به الإثارة الناتجة عن امتصاص الطاقة الكهرومغناطيسية وانتقالها إلى مستويات الطاقة الإلكترونية والاهتزازية

للجزيئات، وليس الإثارة الناتجة عن تفاعلات نووية. ويتركز موضوع البحث على تحليل تفاعل جزيئات الماء مع العوامل الحرارية والكهرومغناطيسية المؤثرة، وليس مع الإشعاعات النووية من نوع ألفا أو بيتا أو جاما، التي تمثل مسارًا بحثيًا مختلفًا كليًا عن أهداف هذه الدراسة.

7. الخلاصة

تشير هذه الدراسة إلى الإسهام الجديد الذي أضافته في مجال سلامة مياه الشرب من خلال استخدام تقنيات التشعيع الكهرومغناطيسي لتحديد نسب جودة المياه وقياس مستويات الاحتراق المادي للماء الطبيعي، والتي تُعتبر كمخاطر (%Risks) هذا النهج يختلف جوهريًا عن المعايير التقليدية التي تعتمد على حدود التعرض لتقييم المخاطر، حيث تعتمد صحتها على المستويات العليا والسفلى للأضرار.

وتتلخص أهم استنتاجات الدراسة فيما يلي:

1. تمكنت الدراسة من تأهيل نتائج اختبارات التشعيع باستخدام مشغل الإنترنت (sop) كعامل رصد للتغيرات في درجة الحرارة النهائية (Tf) مع الزمن (t) ضمن ميزان طاقة يجمع بين طاقة بولترمان وطاقة بلانك، ما أتاح توليد بيانات ترددات الإثارة الذرية كما هو موضح في المعادلة (4).
2. الاختلاف الكبير بين نتائج التردد لعينة ماء المطر الطبيعي ونتائج عينات المياه الجوفية والمياه المعبأة في القنينات البلاستيكية يشير إلى احتمال وجود اختراقات إشعاعية طبيعية مصدرها البيئة الأرضية، حيث تتجمع المواد المشعة نتيجة عمليات حفر عميق أو تنقل طبيعي.
3. التماثل الكبير في نتائج التردد بين المياه الجوفية والمياه المعبأة يوحي بإمكانية تعبئة المياه الجوفية مباشرة في القنينات دون معالجة مسبقة باستخدام تقنيات مثل:
 - التناضح العكسي المتوفر في أغلب الحالات.
 - التبادل الأيوني الذي يزيل النظائر الملتصقة بالمواد المعلقة ويسمح بتقل الملوثات بين الأطوار المختلفة.
4. هناك حاجة لإجراء مسح كيموفيزيائي لطبيعة الأراضي حول التجمعات السكنية، خاصة بالقرب من:

- آبار الصرف الصحي المنزلية والعامّة (الآبار السوداء).
- الواحات القريبة من بحيرات المياه الناتجة عن عمليات إنتاج النفط.
- الإنشاءات المجاورة لساحل البحر الأبيض المتوسط.
- 5. ضرورة تقييس المضافات الكيميائية المهاجرة من جدران القنينات البلاستيكية إلى المياه عند التعرض لظروف حرارية متباينة، إذ تؤثر درجة حرارة الانتقال الزجاجي على مرونة السلاسل البوليمرية، مما يؤدي إلى هجرة المضافات الكيميائية إلى الوسط المائي.

8. التوصيات

- اعتماد تقنيات التشعيع الكهرومغناطيسي كأداة دقيقة لتقييم جودة المياه، خصوصًا لتحديد مستويات الاختراق (%Risks) في عينات المياه الطبيعية والمعبأة.
- تطبيق منهجيات التحليل الكمي الدقيق ومشغل الإنترنت لضمان موثوقية نتائج توصيف خصائص المياه على المستوى الجزيئي.
- إجراء معالجة مسبقة للمياه المعبأة قبل التعبئة، باستخدام تقنيات مثل:
 - التناضح العكسي (Reverse Osmosis – RO)
 - التبادل الأيوني (Ion Exchange – IX) لإزالة النظائر الملصقة بالمكونات المعلقة.
- إجراء مسح كيموفيزيائية للمناطق المحيطة بالمصادر المائية، خصوصًا بالقرب من:
 - آبار الصرف الصحي والمجاري.
 - بحيرات المياه الناتجة عن النشاط الصناعي أو النفطي.
 - المناطق الساحلية القريبة من البحر المتوسط.
- تقييس المضافات الكيميائية المهاجرة من القنينات البلاستيكية عند التعرض لدرجات حرارة مختلفة، مع الأخذ في الاعتبار تأثير درجة حرارة الانتقال الزجاجي على مرونة البوليمر وهجرة المضافات إلى الماء.

- توسيع الدراسات المستقبلية لتشمل عينات مياه من مصادر متعددة وظروف بيئية متنوعة، لضمان تعميم النتائج وتقديم توصيات عملية لصناعة المياه المعبأة ومراقبة جودة المياه الطبيعية.

المراجع

- [1] Abdulbaset S. Huwaidi and Abdulhamid M. Dajan. (2024). Utilization of Entropy Concept of Second Law of Thermodynamics for Determination of Risk Levels in Ground-Waters and Bottled-Waters on Basis of Clean Reference Represented by Quality of Rain-Water, *International Science and Technology Journal (ISTJ)*, Volume 35, Part 1, 31.
- [2] Jamie Bartram, Lana Corrales, Annette Davison, Dan Deere, David Drury, Bruce Gordon, Guy Howard, Angella Rinehold, and Melita Stevens.(2009) Water Safety Plan Manual: Step-by-Step Risk Management for Drinking-Water Suppliers, *World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland*.
- [3] Ghozlan Al-Hemmali, Mahasen Al-Khabat, Abdulhamid Dajan, and Muhammed Khalifa, (2004). Standardization of the Migration of Additives from Plastic Bottles to Water, *1st Annual Conference on Environmental Risk Management Under Technological Aspects, Modern Academy*, 27–28.
- [4] Abdulhamid Dajan. (2023). Utilization of Al-Ajeep Electromagnetic Irradiation Technique for Determination of Treatment Effectiveness Level in Examined Contaminated Soil Samples, *A Technical Report prepared for Environment Corrective Administration of South Tripoli, Libya*.
- [5] Vaaramaa, K. (2003). *Physico-chemical forms of natural radionuclides in drilled well waters and their removal by ion exchange* (Doctoral dissertation, Helsingin yliopisto).
- [6] Lowry, J. D., & Lowry, S. B. (1988). Radionuclides in drinking water. *Journal-American Water Works Association*, 80(7), 50-64.
- [7] Abdulhamid M. Dajan.(2013). Project Proposal for Assessment of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Tajouraa, *Libyan Establishment for Scientific Research, Tripoli, Libya*.
- [8] Field, R. W. (2015). Radionuclides in water. In *Routledge Handbook of Water and Health* (pp. 122-133). Routledge.

- [9] Kleinschmidt, R. I. (2011). *Radioactive residues associated with water treatment, use and disposal in Australia* (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
- [10] Bastian, R. K., Bachmaier, J. T., Schmidt, D. W., Salomon, S. N., Jones, A., Chiu, W. A., ... & Lenhart, T. (2005). Radioactive materials in biosolids: national survey, dose modeling, and publicly owned treatment works (POTW) guidance. *Journal of environmental quality*, 34(1), 64-74.
- [11] Abdulhamid M. Dajan and Abdulazziz M. Omran, (2005). Geochemical Mapping of the Infiltration of Blackwell Waters in the Residential and Public Lands in Tajouraa City, *1st National Conference on the Technologies of Wastewater Treatment, Environment General Authority and World Health Organization (WHO), 6–8 June 2005, Benghazi, Libya*.
- [12] Osama Muhamed M. Khalifa Al-Hessnawy. (2014). Lining of Black Wastewater Wells with LDPE Plastic Geo-Membrane to Protect the Soil Layers and Groundwater from Infiltration of Pollutants, *M.Sc. Thesis supervised by Dr. Abdulhamid M. Dajan, Department of Environmental Sciences and Engineering, The Libyan Academy, Janzour, Tripoli, Libya*.
- [13] Abdulhamid M. Dajan and Osama M. Khalifa Al-Hessnawy. (2016). ICCPGE-OL130: Determination of the Safe Design Life of LDPE Membranes Operating as Geo-Plastic Liners in Household Wastewater Wells, *1st International Conference on Chemical, Petroleum, and Gas Engineering (ICCPGE 2016), Al-Merbeh University, Al-Khumus, Libya*.
- [14] Abdulbaset S. Huwaidi and Abdulhamid M. Dajan. (2025). Importance of Lining of Household Wastewater Black-Wells with Plastic Membranes belonging to Polyolefins Group of Polymers, *International Science and Technology Journal (ISTJ)*, Volume 36, Part 1, 17.
- [15] Ammar, F. H., Chkir, N., Zouari, K., & Azzouz-Berriche, Z. (2010). Uranium isotopes in groundwater from the “Jeffara coastal aquifer”(southeastern Tunisia). *Journal of environmental radioactivity*, 101(9), 681-691.
- [16] Rodrigues, E. A., Ferreira, M. L., de Carvalho, A. R., Bustillos, J. O. W. V., Victor, R. A. B. M., Sodré, M. G., & de Andrade, D. A. (2022). Land, water, and climate issues in large and megacities under the lens of nuclear science: An approach for

- achieving sustainable development goal
(SDG11). *Sustainability*, 14(20), 13646.
- [17] Abdulhamid M. Dajan and Muhsen A. Emtair. (2013). Chemo–
Dynamic Treatment of Oil Production Waters at Jalou Oilfield
of Waha Oil Company, *Workshop on Environment Protection,
Jalou Oilfield, Libya*.
- [18] Bethany Forde and Abdulhamid M. Dajan. (2000). The Effect
of Waste Leachate on the Mechanical and Rheological
Properties of Landfill Plastic Liners, *Research Report,
Department of Chemical Engineering, University of
Queensland, Brisbane, Queensland, Australia*.